VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

А. Эйнштейн.
О МЕТОДЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Собрание научных трудов. Том 4 - М.: Наука, 1967 - 600с.

О МЕТОДЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

(On the Method o/ Theoretical Physics. Oxford, Clarendon Press, 1933. (Спенсеров-ская лекция, прочитанная в Оксфорде 10 июня 1933 г.— Ред.))

Если вы хотите узнать у физиков-теоретиков что-нибудь о методах, которыми они пользуются, я советую вам твердо придерживаться следующего принципа: не слушайте, что они говорят, а лучше изучайте их работы. Тому, кто в этой области что-то открывает, плоды его воображения кажутся столь необходимыми и естественными, что он считает их не мысленными образами, а заданной реальностью.

И ему хотелось бы, чтобы и другие считали их таковыми.

Может показаться, что эти слова звучат как намек на то, чтобы вы покинули эту лекцию. Вы можете сказать: ведь он сам — работающий физик, и потому все размышления о структуре теоретической науки, вероятно, передоверит гносеологам.

Против такой критики я лично могу защититься, заверив вас, что не по собственной инициативе, а по любезному приглашению поднялся я на эту трибуну, которая служит напоминанием о человеке, всю свою жизнь твердо боровшемся за единство знания.

Но по существу мое выступление можно было бы оправдать тем, что каждому интересно знать, что думает о своей науке человек, который всю жизнь отдавал свои силы выяснению и улучшению основ науки. Его точка зрения на прошлое и настоящее своей области, пожалуй, очень сильно зависит от того, с чем он связывает надежды на будущее и что ставит своей целью в настоящем, но это—неизбежный удел всякого, кто интенсивно углубился в мир идей. То же самое происходит и с историком, который точно таким же образом, хотя, может быть, и неосознанно, группирует действительные события вокруг идеальных представлений о человеческом обществе, которые он сам создал для себя.

Бросим теперь беглый взгляд на развитие метода теоретической физики и при этом обратим особое внимание на отношение между содержанием теории и совокупностью опытных фактов. Здесь мы встречаемся с вечным противоречием между двумя нераздельными компонентами человеческого познания в нашей области —

А. Эйнштейн.
О МЕТОДЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Собрание научных трудов. Том 4 - М.: Наука, 1967 - 600с.

О МЕТОДЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

(On the Method o/ Theoretical Physics. Oxford, Clarendon Press, 1933.
(Спенсеров-ская лекция, прочитанная в Оксфорде 10

июня 1933 г.— Ред.))
Если вы хотите узнать у физиков-теоретиков что-нибудь о методах, которыми они
пользуются, я советую вам твердо придерживаться следующего принципа: не слушайте, что они говорят, а лучше изучайте их работы. Тому, кто в этой области
что-то открывает, плоды его воображения кажутся столь необходимыми и естественными, что он считает их не мысленными

образами, а заданной реальностью.
И ему хотелось бы, чтобы и другие считали их таковыми.
Может показаться, что эти слова звучат как намек на то, чтобы вы покинули эту лекцию. Вы можете сказать: ведь он сам — работающий физик, и потому все размышления о структуре теоретической науки, вероятно, передоверит гносеологам.
Против такой критики я лично могу защититься,

заверив вас, что не по собственной
инициативе, а по любезному приглашению поднялся я на эту трибуну, которая служит
напоминанием о человеке, всю свою жизнь твердо боровшемся за единство знания.
Но по существу мое выступление можно было бы оправдать тем, что каждому интересно знать, что думает о своей науке человек, который всю жизнь отдавал

свои силы выяснению и улучшению основ науки. Его точка зрения на прошлое и настоящее своей области, пожалуй, очень сильно зависит от того, с чем он связывает надежды на будущее и что ставит своей целью в настоящем, но это—неизбежный удел всякого, кто интенсивно углубился в мир идей. То же самое

происходит и с историком, который точно таким же образом, хотя, может быть, и

неосознанно, группирует действительные события вокруг идеальных представлений о человеческом обществе, которые он сам создал для себя.

Бросим теперь беглый взгляд на развитие метода теоретической физики и при этом
обратим особое внимание на отношение между содержанием теории и совокупностью
опытных фактов. Здесь мы встречаемся с вечным

противоречием между двумя нераздельными компонентами человеческого познания в нашей области — опытом и мышлением.

Мы почитаем древнюю Грецию как колыбель западной науки. Там впервые было создано чудо мысли — логическая система, теоремы которой вытекали друг из друга с такой точностью, что каждое из доказанных ею предложений было абсолютно несомненным: я

говорю о геометрии Эвклида. Этот замечательный триумф мышления придал человеческому интеллекту уверенность в себе, необходимую для последующей деятельности. Если труд Эвклида не смог зажечь ваш юношеский энтузиазм, то вы не рождены быть теоретиком. Но прежде чем человечество созрело для науки, охватывающей действительность,

необходимо было другое фундаментальное достижение, которое не было достоянием философии до Кеплера и Галилея. Чисто логическое мышление не могло принести нам
никакого знания эмпирического мира. Все познание реальности исходит из опыта и возвращается к нему. Положения, полученные при помощи чисто логических средств, при сравнении с

действительностью оказываются совершенно пустыми. Именно потому, что Галилей сознавал это, и особенно потому, что он внушал ату истину ученым, он является отцом современной физики и, фактически, современного естествознания вообще.
Но если опыт есть начало и конец всего нашего знания реальности, то какова же роль логического мышления в науке? Полная система

теоретической физики
состоит
из понятий,
фундаментальных законов,
которые должны иметь силу
для этих понятий,
и следствий, выведенных
посредством логической
дедукции. Это те
следствия,
которые должны
соответствовать нашему
единичному опыту; в любом
теоретическом
трактате их логический
вывод занимает почти все
страницы.

Здесь справедливо точно то же, что и в геометрии Эвклида, за исключением того,
что там фундаментальные законы называются аксиомами и не возникает вопроса о
том, что выводы должны соответствовать какому-либо опыту. Если, однако, эвклидову геометрию рассматривают как науку о возможности взаимного расположения
реальных твердых тел, т. е. если ее трактуют как

физическую науку, не абстрагируясь от ее первоначального эмпирического-содержания, то логическое сходство геометрии и теоретической физики становится полным.

Таким образом, мы определили место логического мышления и опыта в системе теоретической физики. Логическое мышление определяет структуру этой системы; то,

что содержит опыт и взаимные соотношения опытных данных, должно найти свое отражение в выводах теории. В том, что такое отражение возможно, состоит единственная ценность и оправдание всей системы и особенно понятий и фундаментальных законов, лежащих в ее основе. В остальном эти последние суть свободные творения человеческого разума,

которые не могут быть
априори оправданы
ни природой этого разума,
ни каким-либо другим
путем.
Эти фундаментальные
понятия и законы, которые
дальше не могут быть
сводимы,
образуют неотъемлемую
часть теории, которая не
поддается рациональной
трактовке.
Важнейшая цель любой
теории состоит в том,
чтобы этих основных
несводимых

элементов было как можно меньше и чтобы они были как можно проще, однако так,
чтобы это не исключало точного отображения того, что содержится в опыте. Кратко обрисованный здесь взгляд, согласно которому основы научной теории имеют
чисто умозрительный характер, еще не был господствующим в XVIII и XIX веках. Но постепенно он получает все более прочную почву, по

мере того как в мышлении все
более отдаляются друг от друга фундаментальные понятия и законы, с одной стороны, и те выводы, которые должны быть сопоставлены с опытом, с другой, по
мере того,как унифицируется логическая структура, т. е. по мере уменьшения числа логически независимых друг от друга концептуальных элементов, которые

оказываются необходимой опорой всей структуры. Ньютон, основатель первой обширной, работоспособной системы теоретической физики, был еще убежден в том, что основные понятия и законы его системы происходят из опыта. Его слова “hypotheses non fingo” можно понять в этом смысле. Действительно, в то время казалось, что понятия пространства и времени не создавали никаких проблем. Понятия массы, инерции и

силы и связанные с ними законы казались взятыми непосредственно из опыта. Раз эта база была принята, то
и выражение для силы тяготения казалось выведенным из опыта, и было основание
ожидать, что то же самое будет и в отношении других сил.
Правда, из ньютоновских формулировок мы видим, что понятие абсолютного пространства, связанное с понятием абсолютного

покоя, доставляло ему неприятное чувство; он понимал, что в опыте, по-видимому, нет ничего, что соответствовало бы этому понятию. Он чувствовал также беспокойство в связи с введением дальнодействующих сил. Но огромный практический успех его учения, по-видимому, воспрепятствовал ему, как и физикам XVIII и XIX

веков, признать произвольный характер основ его системы. Напротив, большинство естествоиспытателей тех времен были проникнуты идеей, что фундаментальные понятия и основные законы физики не были в логическом смысле свободными изобретениями человеческого разума и что они могли быть выведены из экспериментов посредством “абстракции”, т. е.

логическими средствами. Ясное осознание неправильности этого понимания по существу принесла только общая теория относительности. Эта теория показала, что на фундаменте понятий, сильно отличающемся от ньютонова, можно соответствующий круг опытов объяснить даже более удовлетворительным и совершенным образом, чем это было возможно на

ньютоновой основе. Но совершенно не входя в обсуждение степени превосходства той или другой основы, можно сказать, что их умозрительный характер вполне очевиден из того факта, что мы можем указать на две существенно различные основы, которые обе в высокой степени соответствуют опыту. Во всяком случае это доказывает, что

всякая попытка логического выведения основных понятий и законов механики из элементарного опыта обречена на провал.
Если, далее, справедливо, что аксиоматическая основа теоретической физики не может быть извлечена из опыта, а должна быть свободно изобретена, то можем ли мы
вообще надеяться найти правильный путь? Более того, не существует ли этот

правильный путь только в нашем воображении? Можем ли мы вообще быть уверенными,
что опыт — надежный руководитель, если существуют такие теории, как классическая механика, которая широко оправдывается опытом, хотя и не проникает в сущность вещей? Я отвечаю без колебаний, что, по моему мнению, есть правильный путь, и мы
в состоянии найти его. Весь предшествующий опыт

убеждает нас в том, что природа представляет собой реализацию простейших математически мыслимых элементов. Я убежден, что посредством чисто математических конструкций мы можем найти те понятия и закономерные связи между ними, которые дадут нам ключ к пониманию явлений природы. Опыт может подсказать нам соответствующие математические

понятия, но они ни в. коем случае не могут быть выведены из него. Конечно, опыт
остается единственным критерием пригодности математических конструкций физики.
Но настоящее творческое начало присуще именно математике. Поэтому я считаю в
известном смысле оправданной веру древних в то, что чистое мышление в состоянии
постигнуть реальность.

Чтобы обосновать эту уверенность, я вынужден применить математические понятия.
Физический мир представляется в виде четырехмерного . континуума. Если я предполагаю в нем риманову метрику и спрашиваю, каковы простейшие законы, которые могут удовлетворить такой метрике, я прихожу к релятивистской теории гравитации для пустого пространства Если в этом

пространстве я предполагаю векторное поле или полученное из него антисимметричное тензорное поле и
спрашиваю, каковы простейшие законы, которые могут удовлетворить такому полю, я
прихожу к максвелловым уравнениям для вакуума.
У нас нет еще теории для тех частей пространства, в которых плотность электрического заряда не исчезает. Луи де Бройль предположил существование

волнового поля, которое должно было объяснить известные квантовые свойства
материи. Дирак нашел в спинорах полевые величины нового вида, простейшие уравнения которых позволили вывести общие свойства электронов. Позже, в сотрудничестве с моим коллегой доктором Вальтером Майером, я нашел, что эти спиноры образуют своеобразный вид поля,

математически связанного с четырехмерной
системой; мы назвали его “полувекторным”. Простейшие уравнения, которым такие полувекторы могут удовлетворять, дают нам ключ к пониманию того, почему
существуют два вида элементарных частиц с различной тяжелой массой и равным, но противоположным электрическим зарядом. Эти

полувекторы являются простейшими
после обычных векторов, математическими полевыми образами, которые возможны в
метрическом континууме четырех измерений, и это выглядит так, как если бы они
естественным образом описывали существенные свойства электрических элементарных
частиц.
Для нашего анализа существенно, что все эти

образы и их закономерные связи могут быть получены в соответствии с принципом отыскания математически простейших понятий и связей между ними. Число математически возможных простых типов полей и простых уравнений, возможных между ними, ограничено; на этом основана надежда теоретиков на то, что они смогут понять реальность во всей ее глубине.

Наиболее трудным пунктом для развития подобной полевой теории пока является трактовка атомистической структуры вещества и энергии. Дело в том, что эта теория в основе своей не атомистична, поскольку она оперирует исключительное непрерывными функциями пространства, в противоположность классической механике, наиболее важный элемент которой — материальная

точка — уже сам по себе оправдывает атомистическую структуру вещества. Современная квантовая теория в той ее форме,которая связана с именами деБройля,Шредингера иДирака и которая оперирует с непрерывнымифунк-циями, преодолела эту трудность путем смелой интерпретации; последняя впервые в ясной форме была дана Максом Борном. Согласно этой

интерпретации, пространственные функции, которые встречаются в уравнениях, не претендуют на то, чтобы быть математической моделью атомистического образования. Предполагается, что эти функции позволяют вычислить только вероятности найти такие образования в известном месте или же в известном состоянии

движения, когда
производятся
соответствующие намерения.
Это толкование логически
свободно от противоречий,
и
оно дало значительные
результаты. Но, к
сожалению, оно вынуждает
нас
использовать континуум,
размерность которого не
является размерностью
пространства, применяемого
в физике до сих пор (а
именно: четырехмерной);

размерность этого континуума неограниченно возрастает вместе с ростом числа частиц, составляющих рассматриваемую систему. Не могу не признаться в том, что я придавал этой интерпретации только преходящее-значение. Я все еще верю в возможность построить такую модель реальности, т. е. такую теорию, которая

выражает сами вещи, а не только вероятности их поведения.
С другой стороны, мне кажется несомненным, что мы должны отказаться от идеи
точной локализации частиц в теоретической модели.
Это кажется мне надежным результатом гейзенберговского соотношения неопределенностей. Но атомистическая
теория в собственном смысле слова (а не только

на основе интерпретации) в математической модели вполне мыслима и без локализации частиц. Например, чтобы учесть атомистический характер электричества, необходимо из полевых уравнений получить следующий результат: величина электрического заряда в некоторой области трехмерного пространства, на границах которой плотность заряда исчезает повсюду,

всегда представляется целым числом. Таким образом, в теории континуума атомистические характеристики могли бы быть удовлетворительно выражены через интегральные законы и без локализации образований, составляющих атомистическую структуру.

Только в том случае, если бы удалось осуществить такое представление

атомистической структуры, я считал бы квантовую загадку разрешенной. Лекция печаталась также в сб. “Mein Weltbild” и “Ideas and Opinions”, а в русском переводе — в сб. “Физика и реальность” (стр. 61—66) и в журнале “Успехи физических наук” (1965, 86, 403—407)